WIEDZA POWSZECHNA
WYDAWNICTWO POPULARNO-NAUKOWE

MARIAN GROTOWSKI

CZY ISTNIEJE PRÓŻNIA

Z CYKLU:
WŁASNOŚCI MATERII
VIII
ZESZYT

1948
SPÓŁDZIELNIA WYDAWNICZA »CZYTELNIK«
66

REDAKTOR STANISŁAW TAZBIR

REDAKTOR DZIAŁU SZCZEPAN SZCZENIOWSKI

Marzec 1948 40.000

Drukarnia Nr 4 Spółdz. Wyd. „CZYTELNIK", Łódź, Żwirki 2

MARIAN GROTOWSKI (Łódź)

CZY ISTNIEJE PRÓŻNIA

Czy istnieje próżnia? Czy, innymi słowy, może istnieć taka przestrzeń, w której by nic nie było: ani żadnego ciała stałego, ani żadnej cieczy, ani nawet powietrza lub innego gazu? Na to pytanie, które od wielu już wieków zaprzątało umysły ludzi, zastanawiających się nad zjawiskami przyrody, dał wyraźną odpowiedź wielki myśliciel grecki Arystoteles * (żyjący w IV wieku przed nar. Chr.), stwierdzając, że istnienie tego rodzaju przestrzeni jest niemożliwością.

Dowodzenia Arystotelesa były tak przekonujące, jego wnioski tak uzasadnione logicznie, że jego twierdzenie, ujęte w lapidarną formułkę „przyroda nie znosi próżni", stało się czymś w rodzaju naukowego pewnika. Dopiero w dwa tysiące lat później zostało wykonane doświadczenie, które poważnie ów „pewnik" zachwiało.

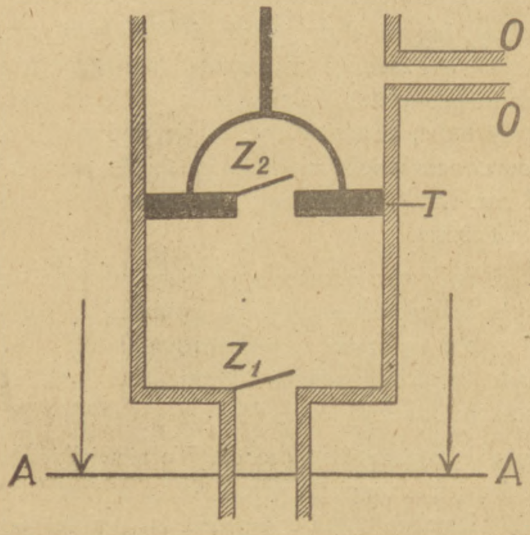
Doświadczenie to zostało wykonane we Florencji. To niewielkie stosunkowo miasto włoskie, które już trzysta lat przedtem opromieniła sława twórcy „Boskiej komedii" Dantego i które dwieście lat później wydało spośród swoich mieszkańców Leonarda da Vinci, wielkiego malarza i głębokiego uczonego, przeżywało w owej właśnie epoce, na przełomie XVI i XVII stulecia, największy bodaj swój rozkwit skupiając wokół genialnego Galileusza, twórcy mechaniki współczesnej, grono wybitnych uczonych. Jednemu z nich Ewangeliście Torricellemu, najbliższemu współpracownikowi Galileusza, przypadł zaszczyt zachwiania twierdzeniem Arystotelesa.

Punktem wyjścia jego badań było proste na pozór i codzienne zjawisko — pompowania wody ze studni. Do tego celu służyła pompa ssąca, której działanie możemy sobie przedstawić w sposób następujący. Do zbiornika wody gruntowej zanurza się rurę pionową, zaopatrzoną w za-

---

* Objaśnienia są podane na końcu zeszytu.

wór Z_1 (Rys. 1), otwierający się jedynie do góry. Wyżej w rurze umieszczony jest możliwie szczelnie przylegający do ścian rury tłok, zaopatrzony w zawór Z_2, otwierający się również tylko do góry. Wsuwamy tłok do dołu tak, aby doszedł do zaworu Z_1, powietrze, znajdujące się w przestrzeni między tłokiem a zaworem Z_1, zgęszczając się podczas wpychania tłoka, podnosi zawór Z_2 i uchodzi na zewnątrz. Gdy tłok dojdzie do możliwie najniższego położenia, podnosimy go z powrotem do góry, powietrze pod tłokiem się rozrzedza, wobec czego zawór Z_2 zamyka się, zawór zaś Z_1 otwiera się; woda w rurze zaczyna się podnosić, dążąc do góry za tłokiem, jak gdyby dla udowodnienia twierdzenia Arystotelesa, że przestrzeń próżna pod tłokiem musi być natychmiast zapełniona. Gdy tłok dojdzie do najwyższego położenia, wpychamy go znów na dół, woda naciskana z góry przez tłok otwiera zawór Z_2, wypływa ponad tłok i uchodzi na zewnątrz przez rurę odpływową OO.



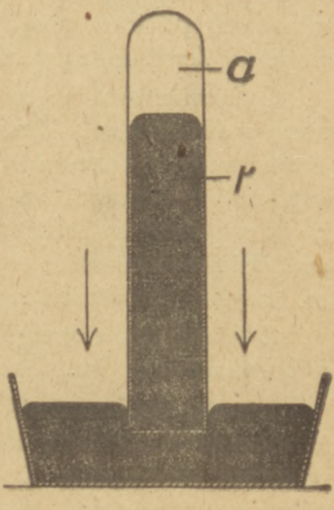
Rys 1. Z_1, Z_2 — zawory, T — tłok, OO — rura odpływowa, AA — poziom wody gruntowej.

I oto po wywierceniu jednej szczególnie głębokiej studni we Florencji ten, zdawało się, niezawodny sposób pompowania wody zawiódł całkowicie. Żadne zmiany budowy pompy nie zdołały podnieść wody na wysokość większą od dziesięciu metrów. Torricelli, rozwijając myśl swego mistrza, który i na to zagadnienie zwrócił uwagę, wyjaśnił, że podnoszenie się wody w rurze nie może być uwarunkowane przez jej dążenie do wypełnienia próżni pod tłokiem, bez względu na wysokość, na jaką tłok się podnosi. Podnoszenie się wody jest, zdaniem Torricellego, wywołane przez różnicę ciśnień, wywieranych na powierzchnię wody gruntowej: na tę jej część, która znajduje się poza rurą, działa ciśnienie otaczającej nas atmosfery powietrznej, na tę, która się znajduje pod odsuwanym stopniowo tłokiem, nie działa nic, lub — ściślej mówiąc — działa bardzo małe ciśnienie rozrzedzonego powietrza nad wodą w rurze.

Woda podnosi się dopóty, dopóki ciśnienie wzniesionego ponad poprzedni poziom słupa cieczy nie zrównoważy ciśnienia powietrza zewnętrznego; z chwilą, gdy te dwa ciśnienia się zrównoważą, woda przestanie się podnosić.

Słuszność swoich założeń Torricelli potwierdził prostym i przejrzystym doświadczeniem.

Rurkę szklaną (Rys. 2), z jednego końca zamkniętą, napełnił po brzegi rtęcią, obróciwszy rurkę, rzecz prosta, zamkniętym końcem na dół. Rtęć stopniowo nalewana do rurki usuwała z niej powietrze. Następnie, zamknąwszy otwarty koniec palcem i ostrożnie odwróciwszy rurkę, zanurzył koniec ten pod powierzchnię rtęci nalanej do większego naczynia. Gdy rurka była ustawiona pionowo, usunął palec, zamykający jej koniec otwarty. Okazało się wtedy, że rtęć w rurce nieco opadła zatrzymując się wszakże na poziomie wyższym niż w naczyniu. Nad nią pozostała w górnej części rurki (Rys. 2) przestrzeń swobodna, w której nie było ani rtęci, ani powietrza, która przeto była próżnią — słynną próżnią Torricellego. Dzisiaj możemy ją bez trudu obserwować w każdym barometrze rtęciowym.



Rys. 2. *a* — próżnia Torricellego, *r* — rtęć.

To doświadczenie, wykonane w 1643 r. (w rok po śmierci Galileusza), wywołało wielkie wrażenie w ówczesnym świecie naukowym. Fizyk francuski, Mersenne, dowiedziawszy się o nim z prywatnego listu — Torricelli bowiem swego odkrycia nie podał do publicznej wiadomości — pojechał umyślnie do Florencji, aby naocznie przekonać się o istnieniu próżni. Jeden z największych umysłów XVII wieku, matematyk, fizyk i filozof, Błażej Pascal, przystąpił w kilka lat później (1647 r.) do powtórzenia tego doświadczenia. O wadze, jaką współcześni przypisywali odkryciu Torricellego, świadczy również ciekawy spór o pierwszeństwo tego odkrycia.

Sprawcą a raczej ofiarą tego sporu był uczony kapucyn o. Walerian, w życiu świeckim noszący nazwisko hr. Maksymiliana Magni, przebywający na dworze króla Władysława IV.

Król, wielki miłośnik nauk ścisłych, lubił otaczać się uczonymi i śledził pilnie postępy nauki. Z o. Walerianem zbliżyło go, prawdopodob-

nie, uznanie, jakie obaj żywili dla Galileusza. Król korespondował z Galileuszem: w jednym z zachowanych listów prosi uczonego florenckiego o przysłanie mu szkieł do lunety — przyrządu, rozsławionego wówczas użyciem go przez Galileusza do odkrycia nowych ciał niebieskich. Teorie Galileusza, prześladowane w Rzymie, w Polsce pod światłą opieką królewską mogły się krzewić swobodnie.

Dnia 12 lipca 1647 roku na trzy miesiące przed ogłoszeniem drukiem przez Pascala wyników jego doświadczeń, gdy o odkryciu Torricellego głuche tylko krążyły wieści wśród wtajemniczonych, o. Walerian dał królowi i zgromadzonemu dworowi „najprzyjemniejsze widowisko", jak pokaz uczonego mnicha nazywa relacja współczesna, a mianowicie wykazał to, co uważano za niemożliwe — istnienie próżni.

Ogłoszenie drukiem tego doświadczenia ściągnęło na o. Waleriana burzę z dwóch stron. Uczony polski — Brożek — odrzucił stanowczo jego wywody. „Twierdzimy, że próżnia jest rzeczą niemożliwą, ponieważ ustalił to odpowiednimi racjami i doświadczeniem Arystoteles" — taki był ostateczny wniosek jego polemicznej rozprawy. O. Walerian w odpowiedzi przypominał, że „obowiązkiem uczonych jest wysłuchać wszystko, wszystko sprawdzić i zważyć każdy argument".

Z drugiej znów strony — przeciwników Arystotelesa — zarzucano o. Walerianowi plagiat.

Istotnie, doświadczenie jego było o cztery lata późniejsze od doświadczenia Torricellego, nie ma jednak powodu sądzić, aby nie było wykonane samodzielnie. Są bowiem takie chwile w rozwoju nauki, gdy odkrycie nowego faktu, nowego zjawiska wisi jakby w powietrzu, jest przez wielu przeczuwane, gdyż cały materiał doświadczalny, cała podbudowa myślowa jest już przygotowana. Wtedy jest wprost rzeczą szczęśliwego przypadku ostateczne potwierdzenie przewidywań.

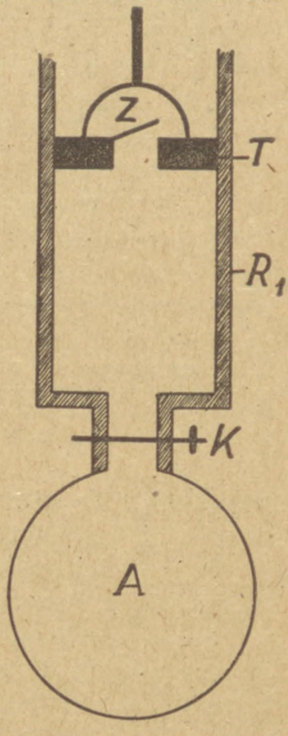
Jakkolwiek bądź, możliwość istnienia próżni została doświadczalnie stwierdzona. Przekonania o możliwości jej istnienia nie zachwiały późniejsze bardzo zasadnicze poprawki, wprowadzone do wyjaśnienia doświadczenia Torricellego. Ściślejsze bowiem badania ustaliły, że przestrzeń, którą uważano za próżną, próżnią nie jest. Jest ona bowiem wypełniona parą rtęci, która, jak każda ciecz, paruje w każdej temperaturze; ta właśnie para wypełnia przestrzeń, znajdującą się między powierzchnią rtęci i górnym zamkniętym końcem rurki szklanej.

Okazało się następnie, że o ile stosunkowo łatwą jest rzeczą usunięcie z zamkniętej przestrzeni najdrobniejszych śladów jakiejkolwiek cieczy, o tyle trudno bardzo pozbyć się obecności wiernego jej towarzysza

— pary. Nie zawsze też można w podobnie prosty sposób, jak to zrobił Torricelli, usunąć całkowicie ze zbiornika wypełniający go gaz.

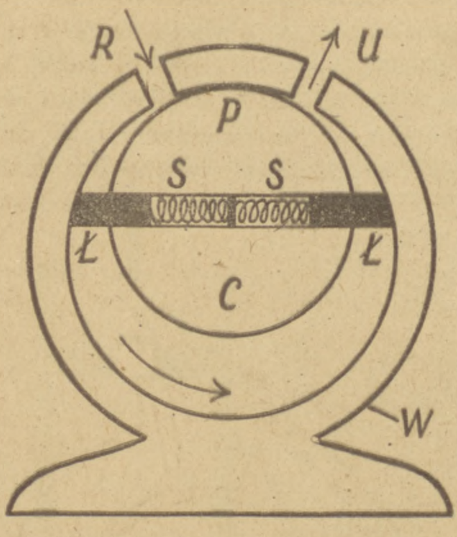
Pierwsze próby zbudowania przyrządu, który by mógł służyć do tego celu, były poczynione, już wkrótce po odkryciu Torricellego, przez burmistrza magdeburskiego Guericke'go (1654). Zbudowana przez niego dość prymitywna pompa pneumatyczna (gr. *pneuma* — powietrze) składa się z rury R_1 (Rys. 3) ze szczelnie do niej dopasowanym tłokiem T. Tłok ten, podobnie jak tłok pompy wodnej, zaopatrzony jest w zawór Z, otwierający się jedynie na zewnątrz.

Wpychamy tłok aż do samego dna rury zgęszczając w ten sposób znajdujące się w rurze pod tłokiem powietrze, które cisnąc na zawór Z silniej aniżeli znajdujące się nad tłokiem powietrze atmosferyczne, otwiera zawór i uchodzi na zewnątrz. Gdy tłok dojdzie do samego dna, gdy więc całe powietrze, wypełniające poprzednio przestrzeń między dnem rury i tłokiem, zostanie usunięte, otwieramy kran K, łączący rurę ze zbiornikiem, w którym mamy gaz rozrzedzić, i zaczynamy stopniowo wyciągać tłok z rury. Gaz ze zbiornika wchodzi do opróżnionej części rury, zwiększając w ten sposób zajmowaną przez siebie objętość i rozrzedzając się. Gdy tłok dojdzie do najwyższego swego położenia, zamykamy kran K i wpychając tłok do rury, usuwamy w niej przez zawór Z masę gazu, wypełniającą rurę; po czym znów otwieramy kran K i rozpoczynamy cały zabieg na nowo. Masy usuniętego za drugim, trzecim itd. razem gazu będą wszakże stopniowo się zmniejszały, gdyż jakkolwiek objętość gazu, usuwanego przy każdym wpychaniu tłoka, będzie ta sama, to jednak gęstość jego będzie coraz mniejsza, tak że, ściśle biorąc, nigdy nie będziemy mogli usunąć gazu całkowicie ze zbiornika, zawsze bowiem w zbiorniku pozostanie gaz, prawda, że dowolnie silnie rozrzedzony, który będzie niedostępny działaniu tłoka.



Rys. 3. R_1 — rura pompy pneumatycznej, T — tłok, Z — zawór, K — kran, A — zbiornik z gazem.

Tej zasadniczej wady pompy tłokowej nie zdołały usunąć żadne późniejsze jej udoskonalenia. Można było co najwyżej przyśpieszyć i udo-



Rys. 4. *R* — połączenie ze zbiornikiem gazu, *U* — rura odpływowa, *Ł Ł* — łopatki, *S S* — sprężyny, *W* — walec zewnętrzny, *C* — walec wewnętrzny, *P* — miejsce stykania się walca *C* z walcem *W*.

skonalić jej działanie, czy to przez lepsze uszczelnienie tłoka, czy też przez zastąpienie uciążliwego zamykania i otwierania kranu ręką, automatycznym przerywaniem połączenia pompy ze zbiornikiem. Ten typ pomp został doprowadzony do dużej doskonałości w pompie obrotowej Gaedego. Schematyczny przekrój takiej pompy przedstawiony jest na rys. 4. Wewnątrz walca metalowego *W* obraca się walec *C*, tak umieszczony, aby stale podczas obrotu stykał się z walcem *W* wzdłuż niedługiego łuku *P*. W walcu *C* zrobiony jest kanał, w którym mogą się przesuwać dwie łopatki *Ł Ł*, połączone sprężynami *S S*, które stale przyciskają je do ścian walca *W*. Gdy *C* obraca się w kierunku strzałki, powietrze z *R* przepychane jest do *U*.

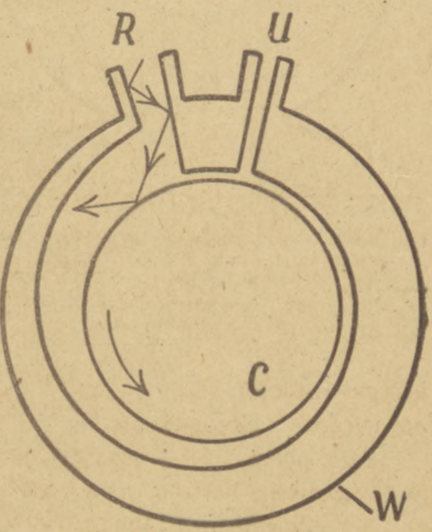
Przy pomocy tej pompy można w przeciągu krótkiego stosunkowo czasu zmniejszyć początkową gęstość gazu mniej więcej 100 000 razy.

Na odmiennej od pomp tłokowych zasadzie oparta jest tzw. pompa drobinowa pomysłu również Gaedego, następnie udoskonalona przez Francuza Hollwecka. Jak wiadomo, drobiny gazu znajdują się stale, nawet wtedy, gdy cała masa gazu jest na ogół w spoczynku, w ciągłym ruchu bezładnym, poruszając się w najrozmaitszych kierunkach, zmieniających się co chwila przy wzajemnych zderzeniach drobin. Przypuśćmy, że w zetknięciu z gazem znajduje się płytka *P P* (Rys. 5), poruszająca się w oznaczonym strzałką kierunku. Drobiny gazu, znajdujące się bezpośrednio nad płytką, poruszając się, jak to zaznaczyliśmy, we wszystkich możliwych kierunkach, uderzają również i w płytkę, która przy tym zderzeniu zmusza je do zboczenia z począt-



Rys. 5. *A* — drobina gazu uderzająca o płytkę *P P* i odbijająca się w kierunku jej ruchu.

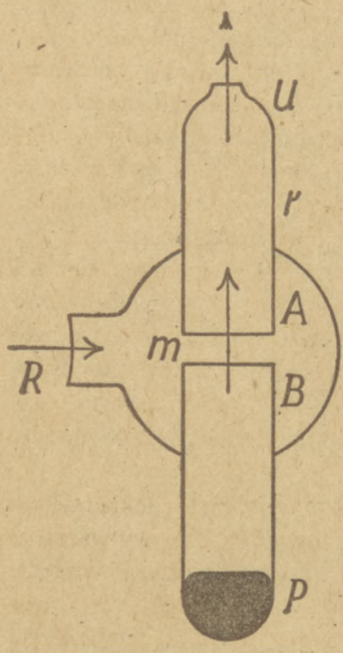
kowej drogi w tym kierunku, w jakim się porusza. W ten sposób w tej warstewce gazu wytwarza się stopniowo ruch drobin w kierunku ruchu płytki. W pompie drobinowej rolę tej płytki odgrywa walec *C* (Rys. 6), umieszczony wewnątrz drugiego walca tak, aby odległość między ścianami była na ogół niewielka (rzędu dziesiątej części milimetra) i zwężała się stopniowo w kierunku obrotu walca od otworu *R*, prowadzącego do zbiornika, do otworu *U*, przez który gaz uchodzi na zewnątrz. Drobina gazu, uderzając o obracający się walec *C*, odbija się od niego w kierunku jego obrotu i jak gdyby porwana przez walec porusza się w kierunku otworu *U*. Warunkiem jednak koniecznym jest, aby wszystkie drobiny gazu, wchodzące do pompy, były w ten ruch obrotowy porwane; osiąga się to przez uprzednie znaczne rozrzedzenie gazu; wtedy bowiem unika się zderzeń między drobinami, które prawidłowy ruch drobiny, nabyty przy zderzeniu jej z walcem, zamieniłyby z powrotem na ruch bezładny. Jeżeli rozrzedzenie jest tak daleko posunięte, że droga, jaką drobina przebywa między dwoma kolejnymi zderzeniami z innymi drobinami (tzw. droga swobodna drobiny), jest przeciętnie tego samego rzędu wielkości, co odległość między ścianami walców *C* i *W*, można przypuszczać, że praktycznie rzecz biorąc, wszystkie drobiny są przepędzane do otworu *U*. Dlatego też pompy drobinowej używa się zawsze w połączeniu z inną pompą, np. wyżej opisaną obrotową, która wytwarza potrzebne do działania pompy drobinowej rozrzedzenie.



Rys. 6. *R* — połączenie ze zbiornikiem gazu, *U* — otwór odpływowy, *W* — walec zewnętrzny, *C* — walec wewnętrzny.

W pompach tzw. dyfuzyjnych (łac. *diffundere* — przenikać), obecnie często używanych w praktyce, ruch obrotowy cylindra jest zastąpiony przez ruch postępowy strumienia pary, wychodzącego z jakiejś ogrzewanej do odpowiedniej temperatury cieczy, np. rtęci. W najgrubszych zarysach działanie takiej pompy można przedstawić w sposób następujący.

Na dnie rurki *r* nalane jest trochę rtęci *P* (Rys. 7), rurka jest przecięta szczeliną *AB* o bardzo małej szerokości *m*. Na tej samej wysokości umieszczony jest otwór *R*, służący do połączenia pompy ze zbiornikiem gazu. Podgrzewając z lekka rtęć w *P* otrzymuje się strumień pary rtęci płynący przez rurę. W strumieniu tym drobiny pary, z których każda oddzielnie może poruszać się bezładnie we wszystkich możliwych kierunkach, w całej swej masie będą przesuwały się ku górze, innymi słowy, prócz ruchu bezładnego będą one wszystkie posiadały wspólny ruch w kierunku strzałki. Będzie to coś podobnego do roju pszczół pędzonych umiarkowanym wiatrem: wewnątrz roju pszczoły będą się na ogół poruszały we wszystkich możliwych kierunkach, cały rój jednak będzie się poruszał z wiatrem.



Rys. 7. r — rurka szklana, *P* — rtęć, *R* — otwór łączący pompę ze zbiorniikiem gazu, *U* — otwór odpływowy, *AB* — szczelina między górną a dolną częścią rurki, *m* — szerokość szczeliny.

Drobiny gazu przenikające z otworu *R* do naczynia i wchodzące przez szczelinę *AB* do rury będą porywane przez strumień pary i razem z nią będą uchodziły przez otwór *U*. I w tym przypadku, tak jak w pompie drobinowej Gaedego-Hollwecka, konieczne jest wytworzenie uprzednio znacznego rozrzedzenia gazu w zbiorniku i odpowiednio daleko posuniętej próżni w pompie, a więc tak, jak poprzednio zwiększenia odpowiednio długości drogi swobodnej drobiny i odpowiedniego dobrania szerokości szczeliny *m*. Dla zmniejszenia wpływu możliwych zderzeń z drobinami pary, które w swym ruchu bezładnym mogłyby poruszać się od środka rury ku jej ścianom zewnętrznym, a więc dążyć w kierunku przeciwnym do drobin gazu, przenikających do rury i wskutek tego zderzając się z nimi, odchylać je od kierunku strumienia, ochładza się brzegi szczeliny tak, aby para na ścianach rury się skraplała. Dlatego też tego typu pompy drobinowe noszą często nazwę pomp kondensacyjnych (łac. *condensare* — zgęszczać).

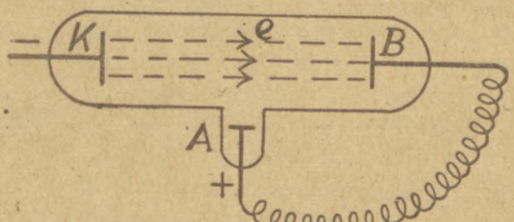
Używając tych pomp można otrzymać rozrzedzenie, zmniejszające gęstość początkową dziesięć tysięcy milionów razy, tzn. takie, że na każ-

de dziesięć tysięcy milionów drobin, zawartych początkowo w zbiorniku, pozostanie tylko jedna drobina.

Ale i tym razem dalecy jesteśmy od doskonałej próżni. Ilość bowiem drobin gazowych zawartych w jednym centymetrze sześciennym gazu jest tak olbrzymia, że nawet przy tak wielkim rozrzedzeniu pozostaną jeszcze w każdym centymetrze sześciennym zbiornika miliardy drobin.

Aby osiągnąć jeszcze większe rozrzedzenie, należy zatem uciec się do innych sposobów. Jeden z nich obmyślił w r. 1875 fizyk angielski Dewar, znany w nauce ze skroplenia wodoru (nawiasem dodajmy, przy użyciu metody opracowanej przez znakomitego chemika polskiego, Karola Olszewskiego). Dewar oparł się na znanym już dawniej fakcie, że węgiel drzewny uprzednio ogrzewany w piecu o wysokiej temperaturze tak długo, aż pozbędzie się wszystkich zawartych w nim gazów — zaktywizowany, jak proces ten obecnie nazywamy — i umieszczony w zbiorniku z gazem, tak obficie pochłania gaz, że może wywołać znaczne jego rozrzedzenie. Działanie jego jest tym silniejsze, im niższa jest jego temperatura, gdy np. tę część zbiornika, w której on się znajduje, umieści się w naczyniu, zawierającym skroplone powietrze (o temperaturze 180^0 poniżej zera). Rozrzedzenie wszakże, jakie można na tej drodze otrzymać, nie przewyższa tego, jakie dają pompy drobinowe czy dyfuzyjne. Własności pochłaniające węgla znalazły o wiele szersze zastosowanie w maskach gazowych, sporządzanych w czasie pierwszej i drugiej wojny światowej.

Nową zupełnie drogę rozrzedzania gazów, otworzyło dokładniejsze zbadanie zjawisk zachodzących w rurach, służących do wytwarzania tzw. promieni X, znanych powszechnie pod nazwą promieni Roentgena. Promienie te, jak wiadomo, powstają w rurce „próżniowej", tzn. rurce zawierającej gaz o znacznym bardzo rozrzedzeniu, do której wtopione są metalowe płytki tzw. elektrody (Rys. 8). Gdy elektrody te połączymy ze źródłem elektryczności wysokiego napięcia, z tej elektrody, która jest połączona z ujemnym biegunem źródła — tzw. katody — wylatują, jak to wykazał fizyk angielski Crookes, z ogromną prędkością elektrony, tj. jakby bardzo drobne ciałka, o masie wielekroć mniejszej od masy najmniejszego atomu — atomu wodoru, naelektryzowane u-



Rys. 8. K — katoda, A — anoda, B — antykatoda, e — strumień elektronów.

jemnie. Jeżeli na drodze tej wiązki elektronów poruszających się prostoliniowo ustawimy płytkę metalową (zazwyczaj z ciężkiego metalu) — tzw. antykatodę, elektrony zostaną przez nią zatrzymane. W wyniku tego nagłego zahamowania ruchu elektronów z antykatody zaczną wychodzić promienie *X* o własnościach analogicznych do własności promieni światła widzialnego, różniące się od nich tylko tym, że z mniejszą lub większą łatwością przechodzą przez takie ciała, które dla zwykłych promieni światła są zupełnie nieprzezroczyste. Im większe jest rozrzedzenie w rurze, tym, ogólnie rzecz biorąc, większego trzeba użyć napięcia na elektrodach, tym wychodzące z rury promienie *X* są „twardsze", tzn. bardziej przenikliwe, przechodzące przez grubsze warstwy ciał, dla światła nieprzezroczystych. Otóż zauważono, że im dłużej używa się rury próżniowej, im częściej posługujemy się nią do wytworzenia promieni *X*, tym promienie te stają się „twardsze", tym więc większe staje się rozrzedzenie gazu w rurze. Wynikałoby stąd, że przepływ „prądu elektronowego" powoduje rozrzedzenie gazu w rurze i — co za tym idzie — spadek jego ciśnienia.

Wniosek ten został poparty przez obserwację zjawisk zachodzących w tzw. żarówkach próżniowych, tzn. takich, w których powietrze zostało bardzo rozrzedzone. Gdy świeżo przygotowaną żarówkę łączono ze źródłem prądu, w ciągu pierwszych minut jej świecenia wypełniało ją niebieskawe światło zanikające. Światło takie powstawało stąd, że elektrony, wysyłane przez ujemny koniec nitek, przez które prąd przepływał, uderzając drobiny gazu, znajdujące się jeszcze w żarówce, zamieniały je w cząstki naelektryzowane dodatnio lub ujemnie. Temu właśnie procesowi „jonizacji" — takie bowiem cząstki nazywamy jonami — towarzyszyło owo niebieskawe światło. Podczas zanikania tego światła ciśnienie w żarówce gwałtownie spadało.

Jeszcze dalej poszedł, jak się zdaje, znany fizyk Coolidge. Zużytkował on własność, jaką posiadają niektóre metale, np. cer, tor — gwałtownego łączenia się, zwłaszcza w wysokich temperaturach, z azotem i tlenem powietrza. Drobny pył tych metali umieszczony w naczyniu, w którym już uprzednio było wytworzone daleko posunięte rozrzedzenie, i nieco ogrzany wytwarza, że użyjemy tu słów samego Coolidge'a, „próżnię tak doskonałą, że nie można już w rurce zaobserwować żadnego prądu jonizacyjnego podczas przechodzenia prądu elektronowego".

Nie jest to, co prawda, i w tym końcowym przypadku próżnia doskonała, o ile biorąc nazwę tę dosłownie, będziemy rozumieli przez nią przestrzeń, w której by nie została ani jedna drobina gazu; rozrzedzenie jednak jest tak wielkie, że trzeba użyć całej potęgi współczesnej techniki badawczej, aby te resztki gazu wykryć.

Próżnię doskonałą lub niezwykle mało od niej różną, której otrzymanie na ziemi wymaga tyle wysiłków, znaleźć można, o ile możemy sądzić, dopiero w obszarach, leżących poza granicami otaczającej nas atmosfery. Co prawda, słowa „granica" używamy tutaj tylko w braku innego lepszego wyrażenia; w rzeczywistości bowiem nasza atmosfera żadnych wyraźnych granic nie posiada. Ta znaczna stosunkowo gęstość powietrza, do jakiej jesteśmy przyzwyczajeni, zawdzięcza swe istnienie ciężarowi całej atmosfery, całej wielkiej kuli gazowej, otaczającej Ziemię i przez Ziemię przyciąganej. Na warstwy powietrza, położone wyżej, ciśnie ciężar mniejszy, ubywa bowiem ciężar masy gazu, zawartej między nimi a powierzchnią Ziemi. W miarę więc wznoszenia się ku górze spotykamy coraz to mniejsze ciśnienie atmosferyczne i, co za tym idzie, coraz mniejszą gęstość. Wiedzą dobrze o tym wszyscy taternicy i wszyscy lotnicy, którzy nieraz dotkliwie odczuwają to rozrzedzanie się powietrza.

Atmosfera przeto rozrzedza się stopniowo, zlewając się nieznacznie bez ostrych przejść z przestrzenią międzyplanetarną i międzygwiezdną, gdzie krąży jedynie pył kosmiczny i z rzadka przebiegają meteory.

W pewnym jednak znaczeniu możemy mówić o granicy atmosfery. Będzie ona leżała w takiej od nas odległości, w której cząstki gazów atmosferycznych nie będą już brały udziału w ruchu obrotowym Ziemi, przestając w ten sposób stanowić część naszej planety. Nastąpi to na takich wysokościach, na których siła przyciągania ziemskiego stanie się już zbyt mała, aby mogła utrzymać cząstki gazu w takim ruchu kołowym, w jakim znajduje się dzięki obrotowi Ziemi dookoła osi, przechodzącej przez bieguny, każdy punkt powierzchni Ziemi i każda cząstka gazu otaczającej nas atmosfery. Takie zjawisko nastąpić może dopiero w odległości co najmniej 35 000 km od środka Ziemi, a więc w odległości tylko dziesięć do dwunastu razy mniejszej od odległości dzielącej nas od Księżyca.

Jak drobnym wtedy ułamkiem wyrazi się gęstość gazu, sądzić możemy z tego, że już na wysokości stu pięćdziesięciu do dwustu kilometrów ponad powierzchnią Ziemi zachodzą zjawiska wymagające bardzo znacznego rozrzedzenia. Są to słynne i tajemnicze do niedawna zjawiska zorzy północnej.

Mamy przeto zupełne prawo przypuszczać, że w owych nieosiągalnych jeszcze dla nas odległościach poza granicami atmosfery istnieją obszary, w których gęstość gazu spadą poniżej dowolnie małej wartości, takiej, jakiej w laboratorium otrzymać dotychczas nie możemy.

Na pytanie więc, czy istnieją we wszechświecie obszary, w których nie ma ani ciał stałych, ani cieczy, ani gazów, a więc takie, które w rozu-

mieniu starożytnych są całkowicie „próżne“, możemy odpowiedzieć twierdząco.

Inaczej jednak wypadnie odpowiedź, gdy przez próżnię będziemy rozumieli przestrzeń „martwą“, w której nie zachodzą żadne zjawiska.

Już wspomniany wyżej o. Walerian Magni stwierdził, nie bez pewnego zdziwienia, że patrząc przez górną część rurki Torricellego, stanowiącą słynną jego „próżnię“, widział znajdujące się poza nią przedmioty, że więc przez próżnię przechodzi światło.

Dziś wiemy nieco więcej; wiemy, że przez próżnię przechodzi energia promieniowania ciał niebieskich, której tylko drobną stosunkowo odmianę stanowi ta jej postać, którą nazywamy światłem i która działa na nasz zmysł wzroku. Przechodząc swobodnie przez próżnię, przekształca się ona, natrafiając na ciała, które jej nie przepuszczają — ciała nieprzezroczyste — w inne postacie energii, najczęściej w ciepło.

Na tej właśnie drodze otrzymujemy energię cieplną ze Słońca, na tej drodze dochodzi do nas, co prawda, w niewielkiej ilości, energia z bardzo oddalonych gwiazd, zużywając nieraz na przebycie olbrzymich odległości wiele setek a nawet tysięcy lat.

„Próżnia“ międzyplanetarna, a raczej międzygwiazdowa, jest tym gościńcem, po którym energia się porusza. Co chwila w każdym miejscu tej przestrzeni krzyżują się promieniowania wysyłane przez niezliczone ciała niebieskie i pędzą dalej z zawrotną prędkością trzystu tysięcy kilometrów na sekundę.

Ale nie dość na tym. Przez tę właśnie przestrzeń przechodzą potoki elektronów i ostatecznych składników jądra atomu, protonów, tajemnicze, powstające gdzieś w głębi wszechświata promienie kosmiczne, o energii przewyższającej wszystko, co mogliśmy dotychczas wytworzyć na Ziemi.

Tak więc przez pozornie martwą przestrzeń ciągle przepływają strumienie, niosące energię od jednych ciał do drugich, wiążąc w ten sposób odosobnione na pozór części wszechświata w jedną nierozerwalną całość, której my jesteśmy tak znikomo małą cząstką.

PRZYPISY

I. OBJAŚNIENIA

Arystoteles — znakomity filozof grecki ur. w 384 r. przed nar. Chr. w mieście Stagirze (*Stageiros*), stąd często nazywany Stagirytą. Arystotelesa można uważać za twórcę logiki, której zasady wyłożył w dziele, znanym pod nazwą *Organon*. Poglądy Arystotelesa na zjawiska przyrody są zawarte w licznych dziełach, z których najważniejszymi dla astronomii i fizyki były: „Fizyka", „O wszechświecie", „Meteorologia" i „Zagadnienia mechaniczne". Arystoteles umarł w 322 r. przed nar. Chr.

Brożek Jan — (1581 — 1652), z łac. nazywany *Broscius*, profesor matematyki i astronomii w Krakowie. Pod koniec życia był rektorem Akademii Krakowskiej. Wielostronnie wykształcony nazywany był przez współczesnych chodzącą encyklopedią. Wydał kilka prac z dziedziny astronomii, geodezji i matematyki.

Crookes William — (1832 — 1919), fizyk angielski. Obserwując przechodzenie prądu elektrycznego przez rozrzedzone gazy, zauważył wychodzące z katody rurki, w której znajdował się badany gaz, promienie różniące się swymi własnościami od promieni świetlnych. Odkrycie tych promieni (nazwanych później katodowymi) było pierwszym krokiem na drodze stwierdzenia złożoności budowy atomu.

Dante Alighieri — (1265 — 1321), sławny poeta włoski. Głównym jego dziełem jest wymieniony w tekście poemat „Boska komedia".

Galileusz (Galileo Galilei) — ur. 18 lutego 1564 r. we Florencji, zapoczątkował swoimi pracami nową erę fizyki. Najważniejsze jego dzieło z tej dziedziny „Rozmowy i dowodzenia matematyczne w zakresie dwóch nowych umiejętności" (Tłumacz. polskie F. K. Wyd. Kasy im. Mianowskiego, 1930 r.) stało się podstawą prac Newtona i współczesnej mechaniki. W dziedzinie astronomii nazwisko Galileusza związane jest z odkryciem czterech księżyców planety Jowisza; odkrycia tego dokonał G. przy użyciu udoskonalonej przez siebie lunety, wynalezionej, jak się zdaje, przez optyków holenderskich. Galileusz był jednym z pierwszych propagatorów teorii Kopernika o ruchu ziemi dookoła słońca (w dziele „Dialog o dwóch największych układach świata: Ptolemeusza i Kopernika", wyd. w r. 1632). Ta działalność Galileusza doprowadziła go do zatargu z władzami duchownymi. Zatarg ten spowodował jego uwięzienie i zmuszenie sędziwego uczonego (G. liczył wtedy blisko 70 lat), do wyparcia się teorii Kopernika. G. zmarł 8 stycznia 1642 r. Dziwnym zbiegiem okoliczności w tym samym roku urodził się wielki następca G. — Izaak Newton.

Guericke Otto — (1602 — 1686) — wybitny fizyk. Opis swej pompy i doświadczeń przy jej pomocy wykonanych podał w dziele „Nowe doświadczenia (tzw. magdeburskie), dotyczące próżnej przestrzeni" (1672 r.).

Lapidarny — (z łac. *lapis* — kamień), zwięzły, treściwy; początkowo lapidarnym stylem nazywano styl napisów wykuwanych w kamieniu; napisy te dla oszczędzenia trudu przy wykuwaniu ich były z konieczności zwięzłe; później przymiotnik „lapidarny" zaczęto stosować do wypowiedzi zwięzłych, ujętych możliwie treściwie, bez ozdób stylistycznych.

Magni Walerian przybył do Polski w 1626 r. za panowania Zygmunta III. Opis swych doświadczeń z barometrem podał w rozprawie łacińskiej „Dziełko o próżni" wydanej w 1645 r. w Krakowie. Magni kierował budową i urządzeniem wodociągów w Warszawie, które wznowił Władysław IV. Umarł w 1661 r.

Mersenne Marin — (1588 — 1648) fizyk francuski, członek zakonu braci mniejszych. Z prac jego dotyczących różnych dziedzin fizyki, najważniejsze są badania nad związkiem między częstością drgań strun a ich napięciem, długością i gęstością.

Olszewski Karol Stanisław — znakomity chemik polski, ur. 29 stycznia 1846 r. w Broniszowie; po ukończeniu nauk w Sączu i Tarnowie wstąpił na uniwersytet krakowski, gdzie w 1871 r. został asystentem przy katedrze chemii. Po otrzymaniu w 1872 r. doktoratu na uniwersytecie w Heidelbergu wrócił do Krakowa, gdzie w 1876 r. został nadzwyczajnym, a w 1891 zwyczajnym profesorem chemii. Olszewski wraz z Zygmuntem Wróblewskim, profesorem fizyki na Uniwersytecie Jagiellońskim, otrzymał 9 kwietnia 1883 r. ciekły tlen, wkrótce zaś potem azot i tlenek węgla. Wszystkie gazy należały do rzędu tzw. gazów trwałych, których mimo wysiłków wielu fizyków nie udawało się otrzymać w stanie ciekłym. Po śmierci Wróblewskiego Olszewski dalej prowadził prace nad skraplaniem gazów, stwarzając pierwsze w świecie laboratorium, służące do badania własności ciał w niskich temperaturach i zaopatrzone w przyrządy zbudowane według jego planu. W laboratorium tym Olszewski otrzymał w 1895 r. wodór w stanie cieczy wrzącej. Jego metodę zastosował, jak o tym była mowa w tekście, fizyk angielski Dewar otrzymując w r. 1898 wodór ciekły w temperaturze niższej od temperatury wrzenia. Prowadząc pracę nad skraplaniem helu, najbardziej „trwałego" ze znanych gazów otrzymał Olszewski temperaturę 263,9° poniżej zera. Była to podówczas najniższa temperatura, jaką udało się fizykom otrzymać. Dopiero w kilka lat później (1908 r.) fizyk holenderski Kamerlingh Onnes przez obniżenie temperatury jeszcze o 8,5°, zdołał hel skroplić. Olszewski umarł w Krakowie w 1915 r.

Pascal Błażej — znakomity filozof, matematyk i fizyk francuski ur. w 1623 r. Dowiedziawszy się o doświadczeniu Torricellego dał, niezależnie od fizyka włoskiego, trafne wyjaśnienie podnoszenia się rtęci w rurze i obmyślił plan doświadczenia, które by mogło wnioski jego potwierdzić. Doświadczenie (wykonane przez szwagra Pascala Periera) polegało na zmierzeniu wysokości słupa rtęci w barometrze u podnóża góry i na jej wierzchołku. Okazało się, że zgodnie z przewidywaniem Pascala wysokość słupa na wierzchołku góry była mniejsza. Opis tego doświadczenia wykonanego w mieście Clermont i na wierzchołku góry Puy-de-Dôme, wznoszącej się nad miastem na wysokość 974 m, Pascal podał w pracy pt.: „Sprawozdanie z wielkiego doświadczenia, dotyczącego równowagi cieczy" (1648 r.). Z prac matematycznych Pascala najważniejsze dotyczą własności krzywych, opisywanych przez punkt koła, toczącego się po linii prostej (tzw. cykloid). Najgłośniejszymi wszakże dziełami Pascala są jego pisma filozoficzne i religijne („Prowincjałki", „Myśli o religii"). Pascal umarł w r. 1662, mając 39 lat.

Plagiat — (od łac. *plagium* — sprzedaż niewolników, należących do kogo innego), dzieło kogoś innego, podawane przez popełniającego plagiat za własne.

Relacja — (od łac. *relatio*) — sprawozdanie.

Torricelli Ewangelista — najwybitniejszy z uczniów Galileusza, ur. w 1608 r. we Florencji. Poza opisanym w tekście odkryciem ciśnienia powietrza atmosferycznego i budową barometru jest on znany w historii fizyki z badań nad wypływem cieczy pod działaniem siły ciężkości (rozprawa „O ruchu ciał ciężkich spadających swobodnie", 1644 r.). Torricelli zmarł, mając zaledwie 39 lat (1647 r.), w rozkwicie swej działalności naukowej.

da Vinci Leonardo — znakomity malarz, rzeźbiarz i uczony, urodził się w 1452 r. w zameczku Vinci, leżącym w pobliżu Florencji w dolinie rzeki Arno. We Florencji spędził dzieciństwo i młodość. Tam też uczył się rysunku i malarstwa. Wkrótce sława jego, jako malarza, przekroczyła granice jego rodzinnego miasta. Powołany na dwór księcia Mediolanu, gdzie powstaje jego słynna „Wieczerza Pańska", daje się poznać jako wybitny rzeźbiarz, architekt i inżynier. Po powrocie do Florencji poświęca się przez czas jakiś sztuce inżynierskiej budując fortyfikacje, obmyślając maszyny wojenne itd. Jednocześnie stwarza arcydzieła malarskie, takie jak portret Mony Lizy del Giocondo, znajdujący się obecnie w Paryżu. Jego zainteresowania sztuką inżynierską doprowadziły go do badania zjawisk równowagi sił, ruchu cieczy i gazów, spadania swobodnego ciał itp. Niestety głębokich swych spostrzeżeń i odkryć, które czynią z niego bezpośredniego poprzednika Galileusza, nie ujął w żadną całość. Pozostały one w ułamkowych notatkach i nie wywarły takiego wpływu na rozwój nauki, jaki mogły i powinny były wywrzeć. Zmarł w 1518 r. na zamku w Amboise (we Francji).

II. ZAGADNIENIE

Jakie są zastosowania praktyczne techniki próżniowej?

III. LITERATURA

Z dziejów rozwoju fizyki. Warszawa. Wyd. Mathesis Polskiej.

Cykl: **Własności materii** — obejmuje następujące zeszyty.

I. Sprężystość i wytrzymałość ciał stałych
II. Kryształy i ich własności
III. Własności cieczy w spoczynku i ruchu
IV. Prawo Archimedesa i pływanie ciał
V. Balony i sterowce
VI. **Zasady żeglarstwa**
VII. Własności gazów; barometr
VIII. **Czy istnieje próżnia**
IX. Fizyka lotu aeroplanu
X. Spójność i przyleganie: zjawiska włoskowatości
XI. Bańki mydlane i własności błonek powierzchniowych.

Ukazały się zeszyty: VI i VIII; inne są w przygotowaniu.

Każdy zeszyt, mimo przynależności do określonego cyklu, stanowi odrębną jednostkę wydawniczą. Dlatego zeszyty będą się ukazywały — każdy osobno. Zapewni to Czytelnikom szybsze otrzymywanie poszczególnych publikacyj.

Zeszyty mają okładki tymczasowe. Do każdego cyklu (tomu) — przy ostatnim należącym do niego zeszycie — będzie dodawana bezpłatnie okładka trwała z tytułem cyklu.

Wydawnictwo „Wiedza Powszechna" radzi przechowywać starannie każdy zeszyt.

Umożliwi to Czytelnikom skompletowanie kolekcji tomów (cykli), co z kolei doprowadzi do utworzenia zasobnej biblioteki. Biblioteka ta, posiadając rzetelną wartość naukową, będzie przy tym — z uwagi na niską cenę zeszytów — mało kosztowna.

Redakcja i Dział Odpowiedzi „Wiedzy Powszechnej" mieści się w Warszawie, ul. Ign. Daszyńskiego 14, tel. 8-66-93.

Administracja Wydawnictwa mieści się w Delegaturze Łódzkiej „Czytelnika" w **Łodzi, ul. Piotrkowska 96.**

Publikacje Wydawnictwa można nabywać w księgarniach i innych punktach sprzedaży pism i książek. Można także zapisać się na stałego odbiorcę (abonenta); uzyskuje się wtedy zniżkę.

Władze oświatowe, wszystkie szkoły i nauczyciele, organizacje i placówki kulturalne młodzieży oraz pracownicze organizacje zawodowe przy zamówieniach zbiorowych, kierowanych bezpośrednio do Administracji Wydawnictwa, otrzymują rabat zależny od wysokości zamówienia.

Wydawnictwo posiada w P. K. O. konto Nr VII. 4304.
Pełna nazwa konta brzmi: Spółdzielnia Wyd. „Czytelnik", Delegatura Łódzka, Wydawnictwo „Wiedza Powszechna", VII. 4304.

Jeżeli będą Czytelnikom potrzebne jakieś wyjaśnienia lub wskazówki — prosimy nie czekać, lecz pisać pod adresem: Wydawnictwo „Wiedza Powszechna", **Dział Odpowiedzi, Warszawa, ul. Ign. Daszyńskiego 14.**

Na każde zapytanie udzielimy chętnie szybkiej odpowiedzi.

Prosimy o nadsyłanie uwag o poszczególnych zeszytach i o Wydawnictwie.

Chcemy być pomocni naszym Czytelnikom.

WYDAWNICTWO POPULARNO-NAUKOWE „WIEDZA POWSZECHNA"

JEST POTRZEBNE

UCZNIOM
różnych szkół,
zwłaszcza gimnazjów dla dorosłych,

SŁUCHACZOM
uniwersytetów robotniczych i ludowych,

UCZESTNIKOM
świetlic i kół samokształcenia,

SAMOUKOM
kształcącym się indywidualnie.

POZA TYM „WIEDZA POWSZECHNA" BĘDZIE MOGŁA SKUTECZNIE SŁUŻYĆ

CZYTELNIKOM
posiadającym średnie wykształcenie, jako lektura o rzeczach zapomnianych, a przecież ważnych, ciekawych i potrzebnych.

NAUCZYCIELOM
wszystkich typów szkół,
jako niezbędna lektura podręczna,

STUDENTOM
wyższych zakładów naukowych,
jako lektura informacyjna, zastępująca częściowo notatki.

„WIEDZA POWSZECHNA"
JEST ŹRÓDŁEM NIEZBĘDNYCH WIADOMOŚCI NAUKOWYCH DLA KAŻDEGO, KOGO RZECZYWIŚCIE ŻYWO INTERESUJE

ŚWIAT — CZŁOWIEK — ŻYCIE

Szczegółowy program Wydawnictwa znajdą Czytelnicy w specjalnym prospekcie, który można nabyć w księgarniach, biurach władz szkolnych, w szkołach oraz w organizacjach młodzieży i zawodowych.

CZYTELNIK